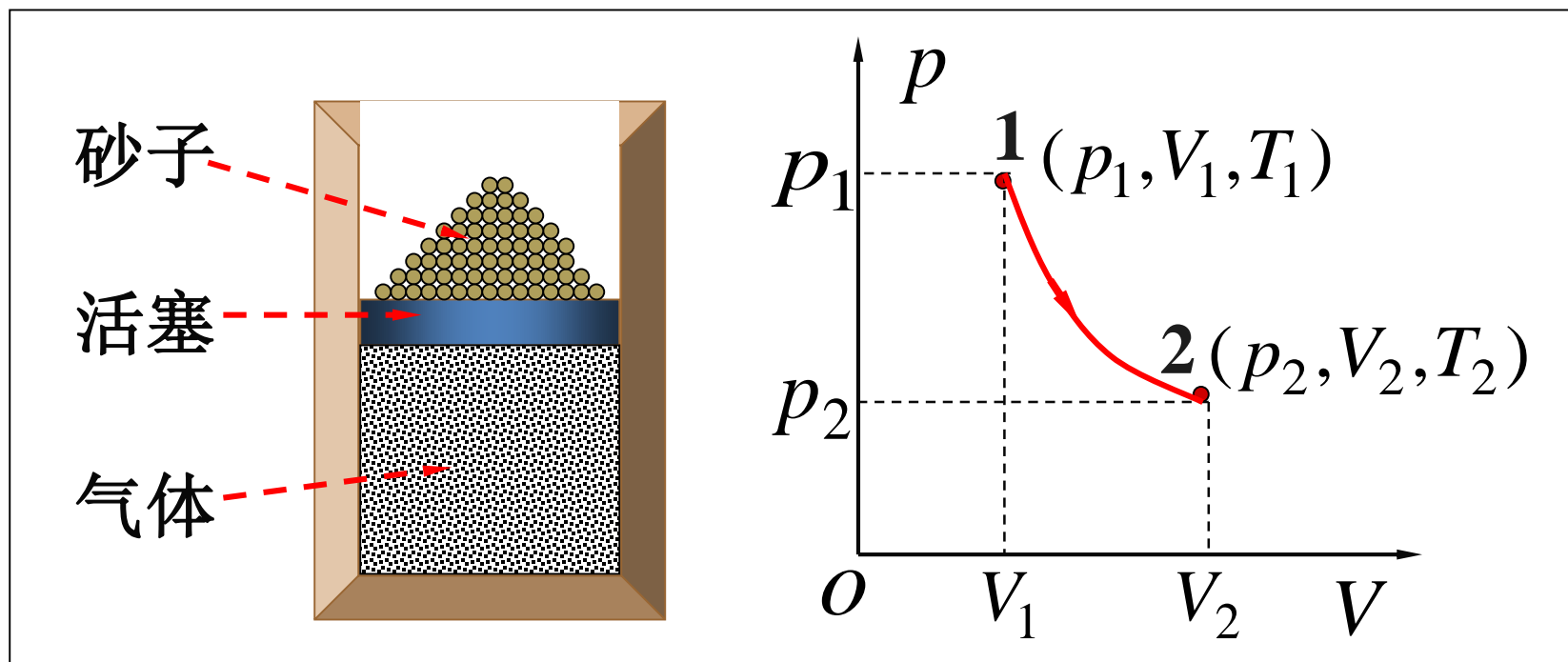


## 一 准静态过程（理想化的过程）

从一个平衡态到另一平衡态所经过的每一中间状态均可近似当作平衡态的过程。





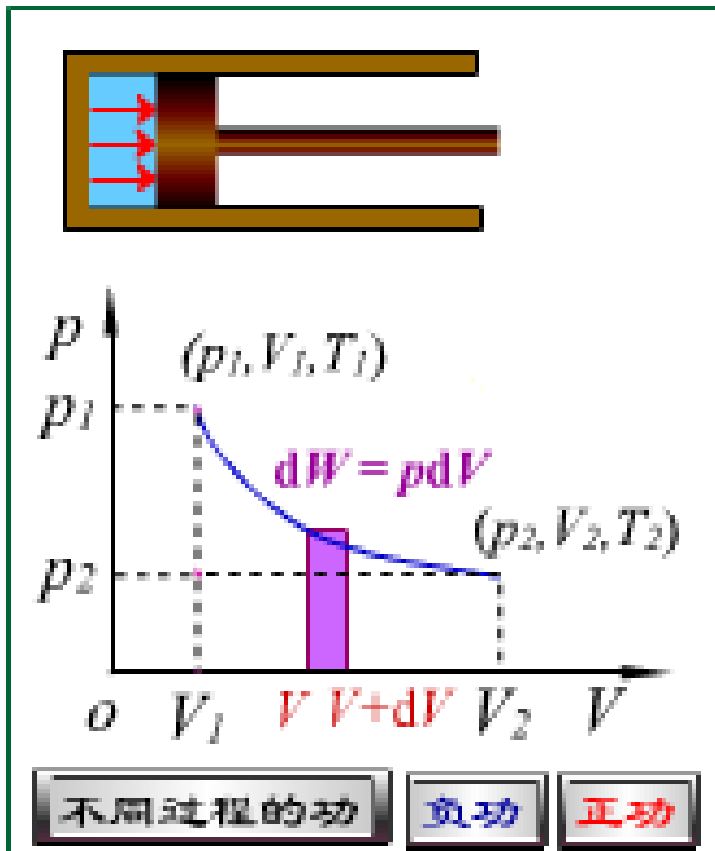
## 二 功（过程量）

**1** 功是能量传递和转换的量度，它引起系统热运动状态的变化。

## **2** 准静态过程功的计算



## 13-1 准静态过程 功 热量



$$dW = Fdl = pSdl$$

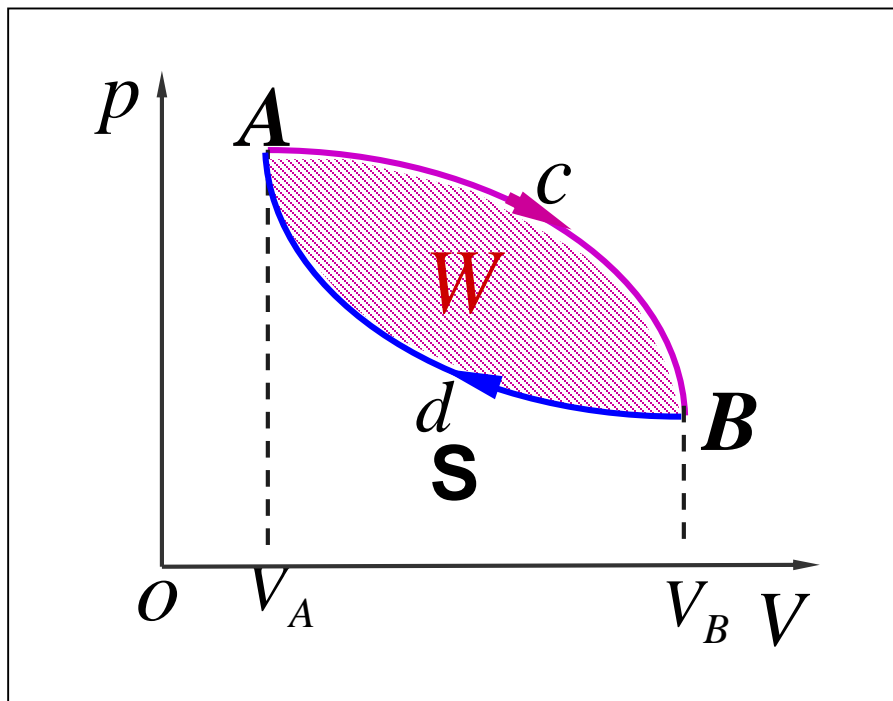
$$dW = p dV$$

$$W = \int_{V_1}^{V_2} p dV$$

注意：

做功与过程有关。

功的几何意义（pV图）： 过程曲线下方的面积



**A-c-B过程**

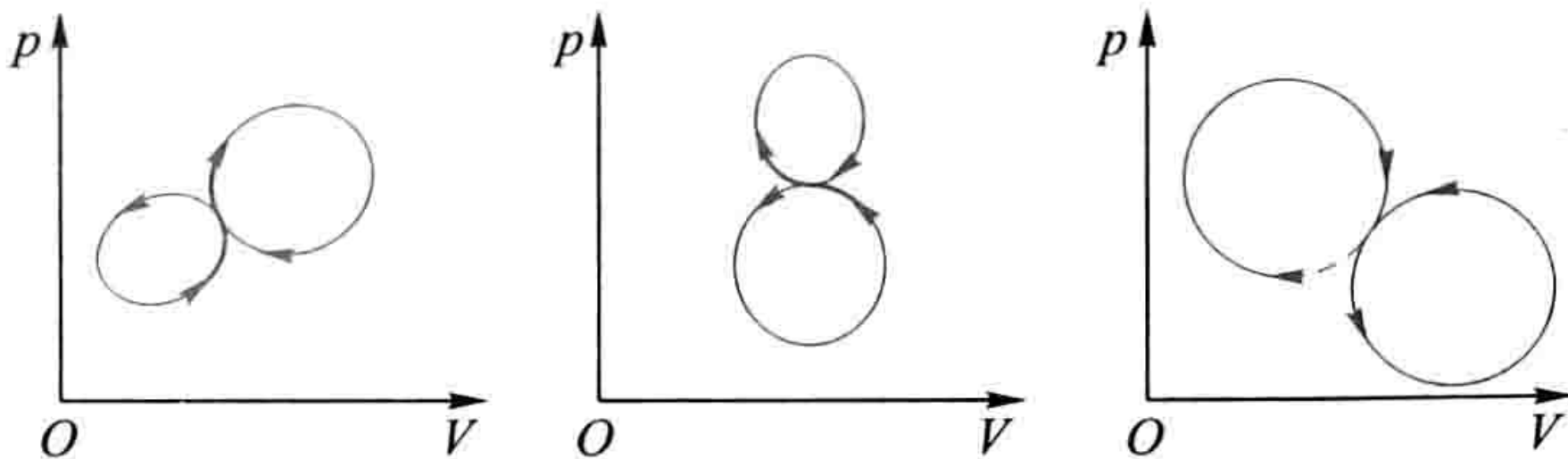
$$\text{功} = W + S$$

**B-d-A过程**

$$\text{功} = -S$$

**A-c-B-d-A过程**

$$\text{功} = (W + S) - S = W$$



问题 13-12 图

指出每一循环过程所做的功是正的、负的,还是零.



- 计算多方过程的功。

$$pV^n = C$$

$$p = CV^{-n}$$

$$W = \int p dV = \int CV^{-n} dV = \frac{1}{-n+1} \int dV^{-n+1}$$

$$W = \frac{C}{1-n} (V_f^{1-n} - V_i^{1-n})$$

$$C = p_f V_f^n = p_i V_i^n$$

$$W = -\frac{1}{n-1} (p_f V_f - p_i V_i)$$

$$pV = \nu RT$$

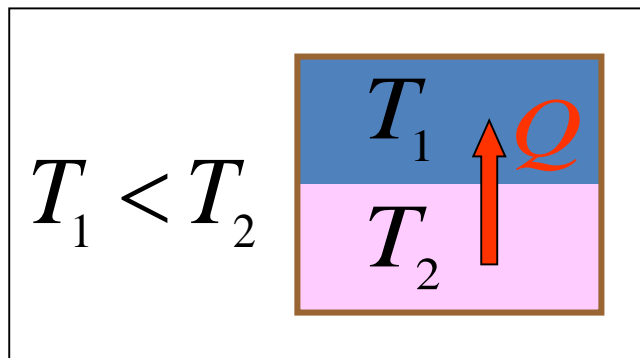
$$W = -\frac{\nu R}{n-1} \Delta T$$

$$dW = \nu \frac{R}{1-n} dT$$



## 三 热量（过程量）

通过传热方式传递能量的量度，系统和外界之间存在温差而发生的能量传递。





### 功与热量的异同

- (1) 都是过程量：与过程有关；
- (2) 等效性：改变系统热运动状态作用相同；  
$$1 \text{ cal} = 4.18 \text{ J} , \quad 1 \text{ J} = 0.24 \text{ cal}$$
- (3) 功与热量的物理本质不同。





## 热 容量（过程量）

$$C_n = \left( \frac{dQ}{dT} \right)_n$$

比热容

$$c = \frac{dQ}{m' dT} = \frac{C}{m'}$$

摩尔热容

$$C_{n,m} = \frac{1}{\nu} \left( \frac{dQ}{dT} \right)_n$$

$$dQ = C dT = \nu C_m dT = m' c dT$$



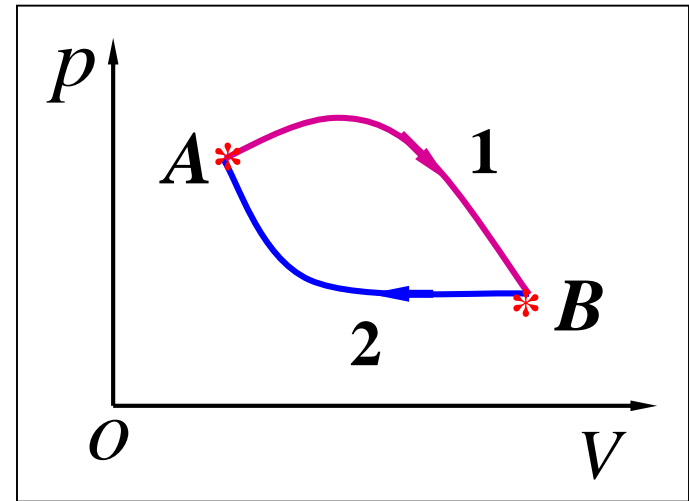
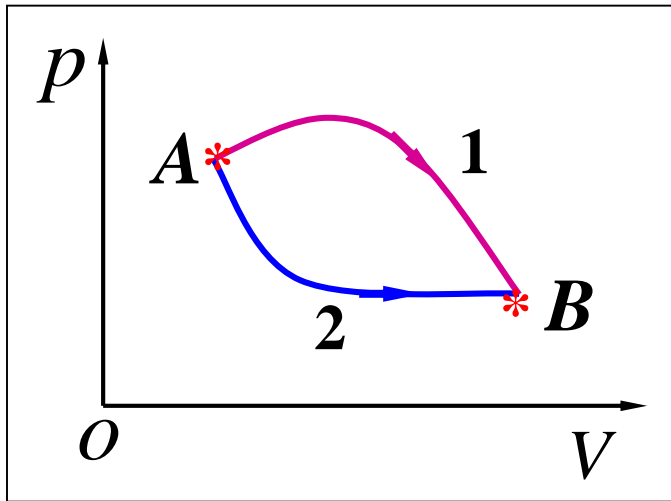


### 一 内能（状态函数）

实验证明系统从状态 $A$ 变化到状态 $B$ ，可以采用做功和传热的方法，不管经过什么过程，只要始末状态确定，做功和传热之和保持不变。



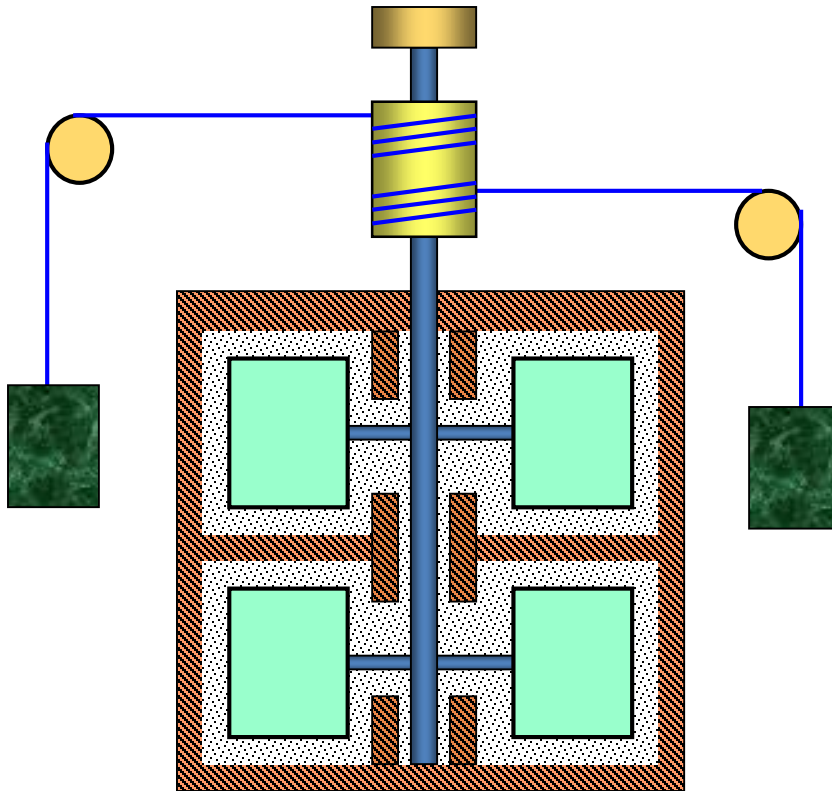
## 13-2 热力学第一定律 内能



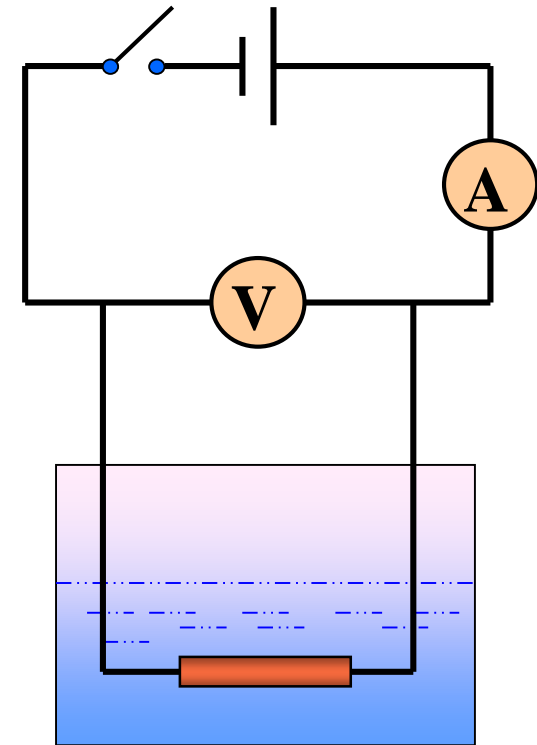
$$W_{A1B} + Q_{A1B} = W_{A2B} + Q_{A2B}$$

$$W_{A1B2A} + Q_{A1B2A} = 0$$

## 作机械功改变系统 状态的焦耳实验



## 作电功改变系统 状态的实验





## 内能（状态函数）

实验证明系统从状态A 变化到状态B，  
可以采用各种做功的方法，不管经过什么过程，只要始末状态确定，绝热功是一样的。

$$dE = (\delta W)_{\text{绝热}}$$

◆ 系统内能的增量只与系统的初态和末态有关，与系统所经历的过程无关。



**内能：** 把系统处于某状态而具有的能量称为系统的内能

◆ **理想气体内能：**

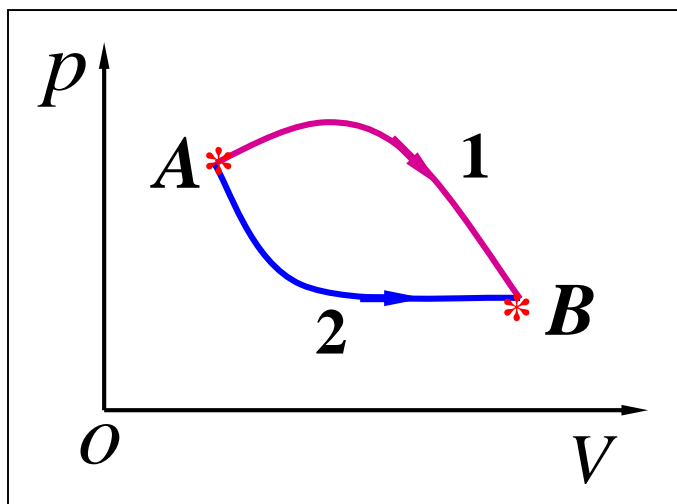
表征系统状态的单值函数，理想气体的内能仅是温度的函数。

$$E = E(T)$$

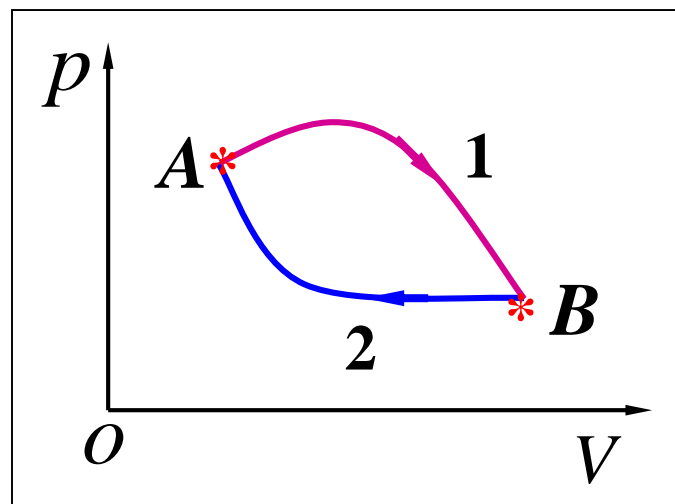
$$E = N \cdot i \cdot \frac{1}{2} kT = \nu \frac{i}{2} RT = \frac{i}{2} pV$$



◆ 系统内能的增量只与系统的初态和末态有关，与系统所经历的过程无关。



$$\Delta E_{AB} = C$$

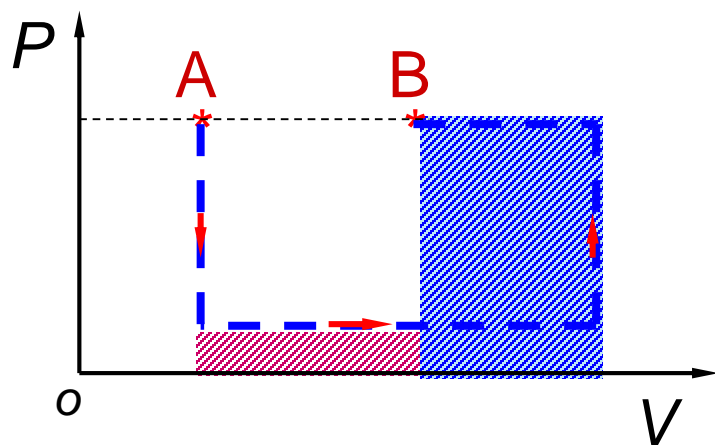


$$\Delta E_{A1B2A} = 0$$



**Ex13-2** 一定量的理想气体，由平衡态  $A \rightarrow B$ ，则无论经过什么过程，系统必然：

- A) 对外作正功； B) 内能增加；  
C) 从外界吸热； D) 向外界放热。



$$T_B > T_A$$

答： ( B )

功和热量都是过程量，始末状态确定后，不同过程，功和热量是不同的；而内能是状态量只决定于始末状态，与过程无关。

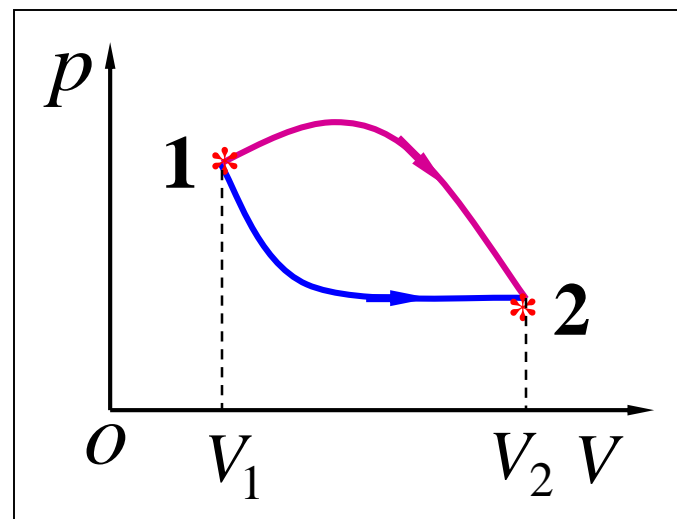




## 二 热力学第一定律

$$Q = E_2 - E_1 + W$$

系统从外界吸收的热量，一部分使系统的内能增加，另一部分使系统对外界做功。



$$Q = E_2 - E_1 + W = \Delta E + W$$



准静态过程

$$Q = \Delta E + \int_{V_1}^{V_2} p dV$$

微变过程

$$dQ = dE + dW = dE + p dV$$



$$Q = E_2 - E_1 + W = \Delta E + W$$

## 第一定律的符号规定

	$Q$	$\Delta E$	$W$
+	系统吸热	内能增加	系统对外界做功
-	系统放热	内能减少	外界对系统做功



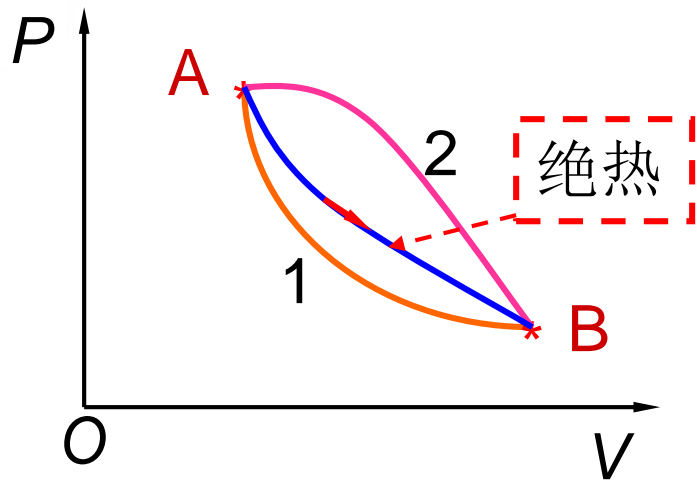
### 物理意义

- (1) 能量转换和守恒定律. 第一类永动机是不可能制成的.
- (2) 实验经验总结, 自然界的普遍规律.



## 13-2 热力学第一定律 内能

**Ex13-1** 判断理想气体下图过程中，各过程  $Q$  的正负。



$$\boxed{A-B} \quad Q_{AB} = 0$$

$$W_{AB} = -\Delta E_{AB} > 0$$

$$\boxed{A-1-B} \quad Q_{A1B} = \Delta E_{AB} + W_{A1B} = W_{A1B} - W_{AB}$$

$$\because W_{A1B} < W_{AB} \quad \therefore Q_{A1B} < 0$$

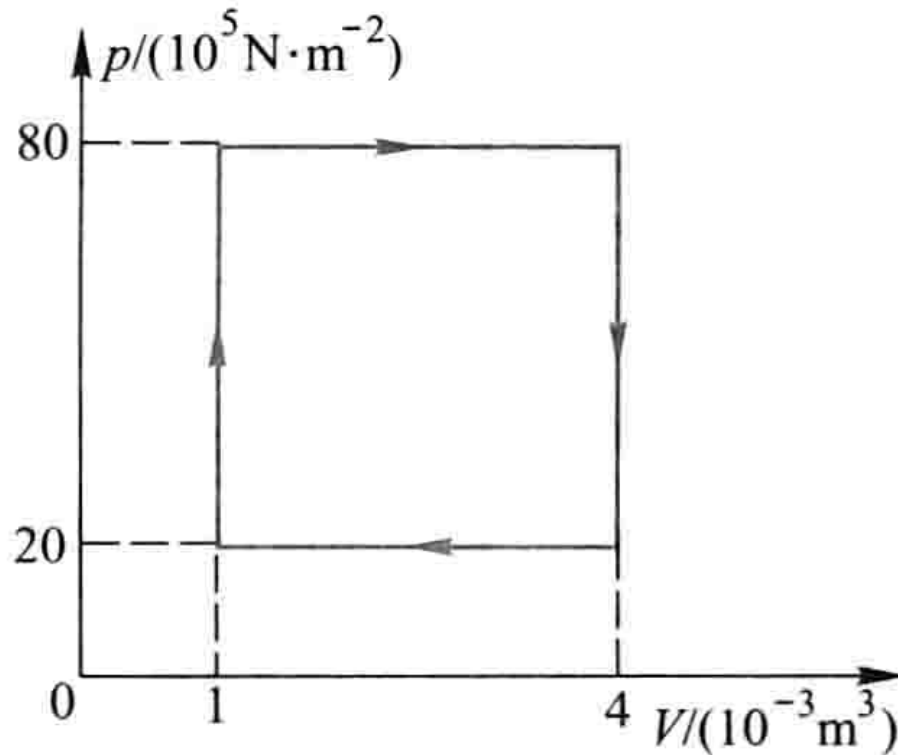
$$\boxed{A-2-B} \quad Q_{A2B} = \Delta E_{AB} + W_{A2B} = W_{A2B} - W_{AB}$$

$$\because W_{A2B} > W_{AB} \quad \therefore Q_{A2B} > 0$$



## 13-2 热力学第一定律 内能

13-4 气体经历如图所示的循环过程,在这个循环过程中,外界传给气体的净热量是  
(A)  $3.2 \times 10^4 \text{ J}$       (B)  $1.8 \times 10^4 \text{ J}$       (C)  $2.4 \times 10^4 \text{ J}$       (D)  $0 \text{ J}$



习题 13-4 图



## 13-3 理想气体的等体和等压过程 摩尔热容

◆ 计算各等值过程的热量、功和内能的理论基础.

$$(1) \quad pV = \nu RT \quad (\text{理想气体的共性})$$

$$(2) \quad \begin{cases} dQ = dE + pdV \\ Q = \Delta E + \int_{V_1}^{V_2} pdV \end{cases}$$

解决过程中能量转换的问题



## 13-3 理想气体的等体和等压过程 摩尔热容

(3)  $E = E(T)$  (理想气体的状态函数)

$$E = N \cdot i \cdot \frac{1}{2} kT = \nu \frac{i}{2} RT = \frac{i}{2} pV$$

(4) 各等值过程的特性.





## 13-3 理想气体的等体和等压过程 摩尔热容

### 一 等体过程 摩尔定体热容

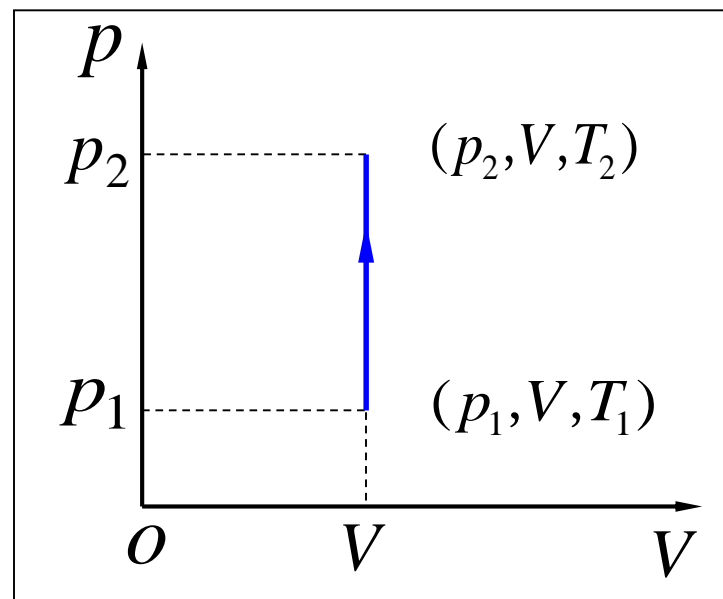
特性  $V = \text{常量}$

过程方程  $PT^{-1} = \text{常量}$

$$dV = 0 \quad dW = 0$$

由热力学第一定律

$$dQ_V = dE$$





## 13-3 理想气体的等体和等压过程 摩尔热容

$$dQ_V = \nu C_{V,m} dT \quad Q_V = \nu C_{V,m} (T_2 - T_1) = E_2 - E_1$$

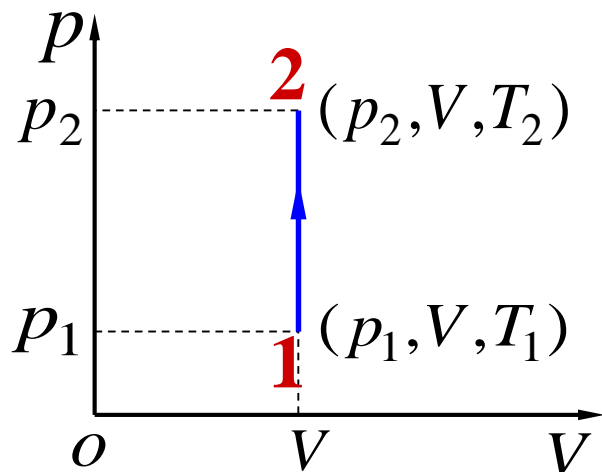
$$dE = \nu \frac{i}{2} R dT \quad C_{V,m} = \frac{i}{2} R$$

$$dE = \nu C_{V,m} dT$$

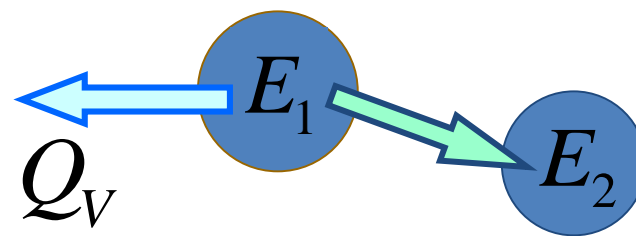
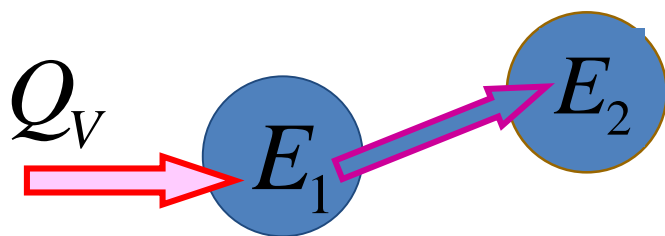
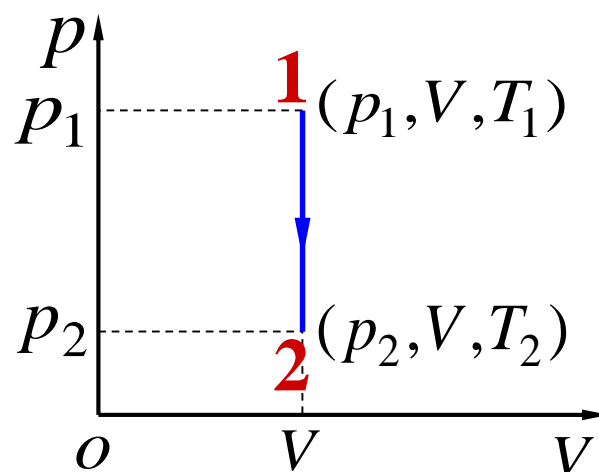


## 13-3 理想气体的等体和等压过程 摩尔热容

等体升压



等体降压





## 二 等压过程 摩尔定压热容

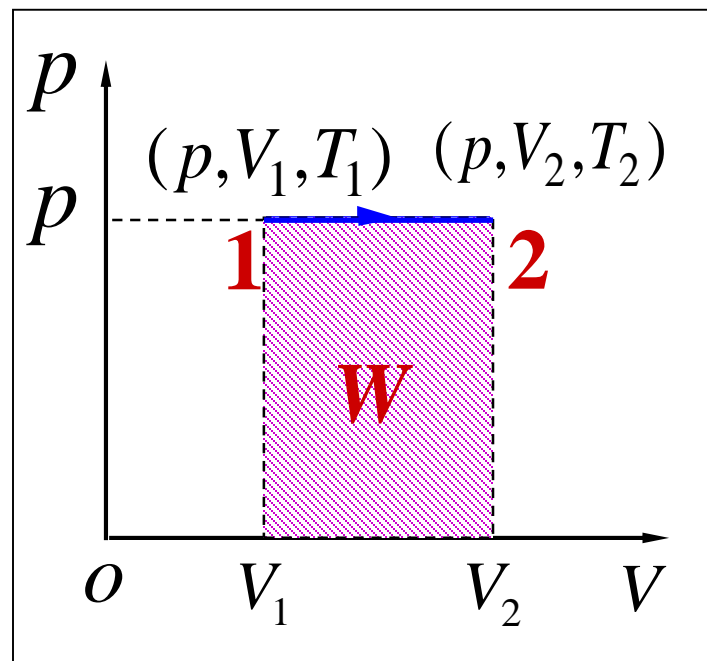
特性  $p = \text{常量}$

过程方程  $VT^{-1} = \text{常量}$

功  $W = p(V_2 - V_1)$

由热力学第一定律

$$dQ_p = dE + dW$$





### 13-3 理想气体的等体和等压过程 摩尔热容

$$C_{p,m} = \frac{dQ_p}{\nu dT}$$

$$dQ_p = \nu C_{p,m} dT$$

$$dE = \nu C_{V,m} dT$$

$$pV = \nu RT$$

$$pdV = \nu R dT$$

$$\nu C_{p,m} dT = \nu C_{V,m} dT + \nu R dT$$

◆ 可得摩尔定压热容和摩尔定体热容的关系

$$C_{p,m} = C_{V,m} + R$$

$$C_p = C_V + \nu R$$

◆ 摩尔热容比

$$\gamma = C_{p,m} / C_{V,m}$$



## 13-3 理想气体的等体和等压过程 摩尔热容

等压过程的三个量的比例关系

$$Q_p = \nu C_{p,m} (T_2 - T_1)$$

$$\Delta E = E_2 - E_1 = \nu C_{V,m} (T_2 - T_1)$$

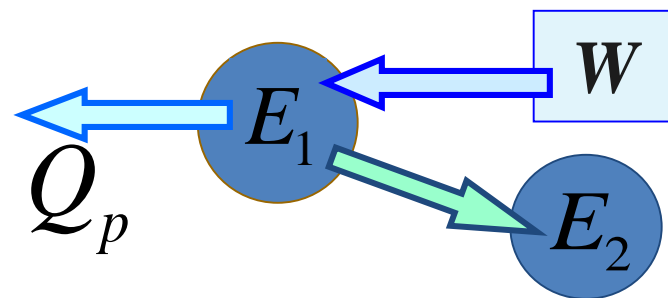
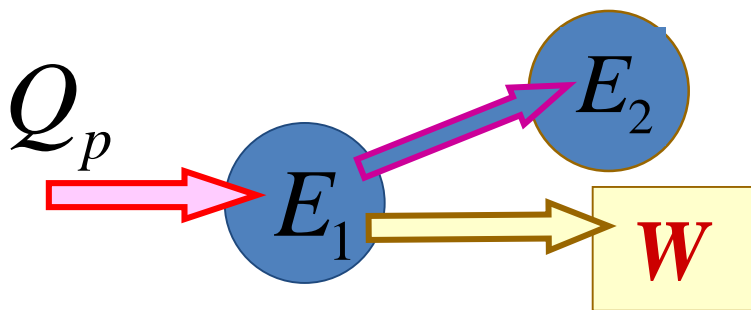
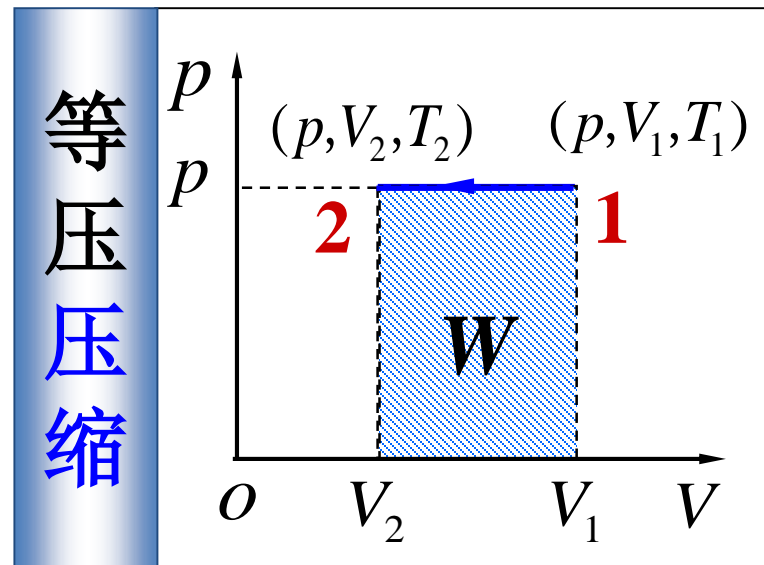
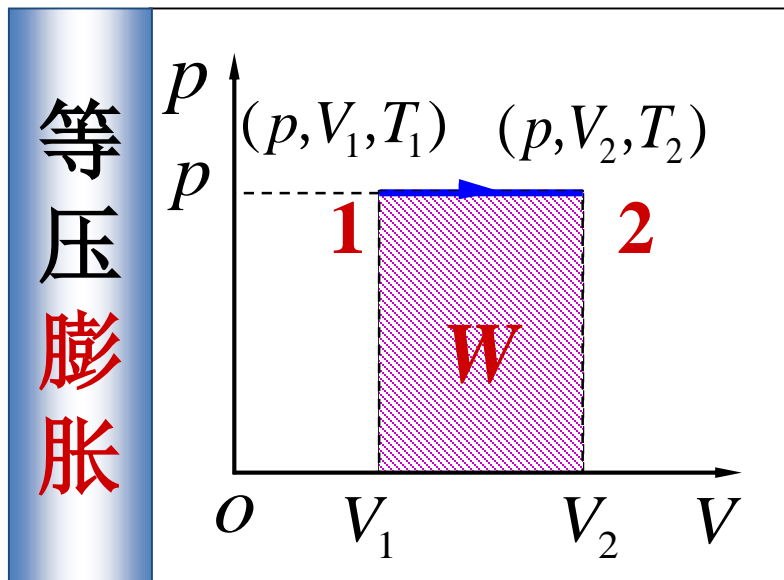
$$W = p(V_2 - V_1) = \nu R(T_2 - T_1)$$

$$Q_p : \Delta E : W = C_{p,m} : C_{V,m} : R$$

$$= \frac{i+2}{2} : \frac{i}{2} : 1 = (i+2) : i : 2$$



# 13-3 理想气体的等体和等压过程 摩尔热容



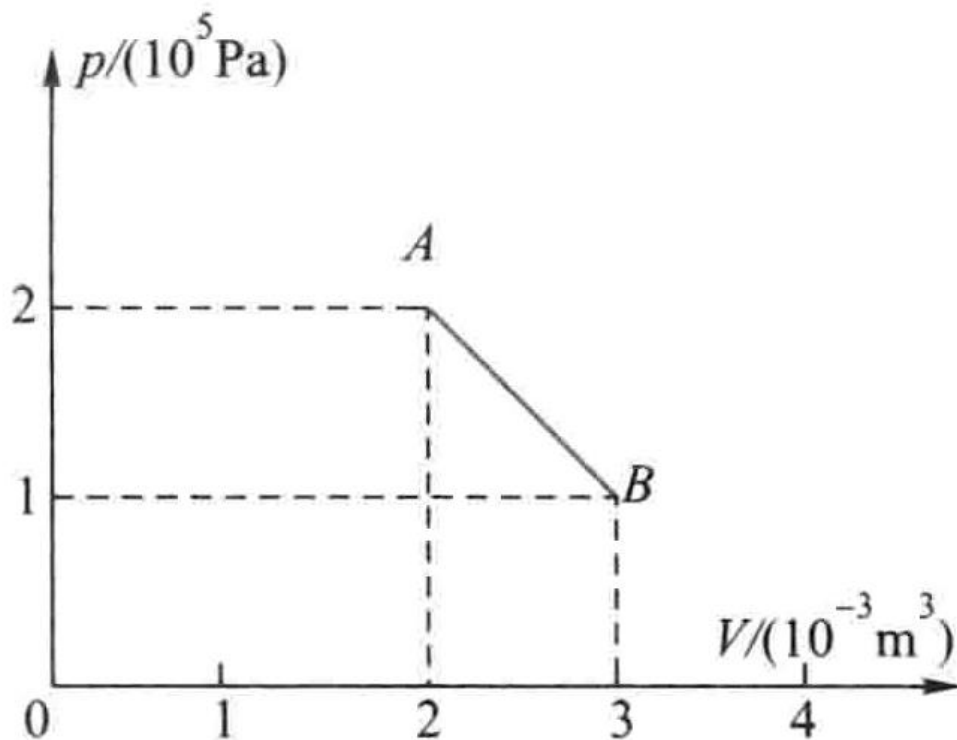


## 13-3 理想气体的等体和等压过程 摩尔热容

讨论：直线过程

$$\frac{p}{p_0} = -\frac{V}{V_0} + 4$$

$$y = -x + 4$$



习题 13-9 图